

⑤1

Int. Cl.:

F 04 d

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

⑤2

Deutsche Kl.:

27 c, 12/01

⑩

⑪

⑫

⑬

⑭

Offenlegungsschrift 1903 642

Aktenzeichen: P 19 03 642.1

Anmeldetag: 24. Januar 1969

Offenlegungstag: 6. August 1970

Ausstellungspriorität: —

⑮

Unionspriorität

⑯

Datum:

20. Januar 1969

⑰

Land:

Schweiz

⑱

Aktenzeichen:

749-69

⑤4

Bezeichnung:

Schaufelung für Rotoren von Axialverdichtern

⑥1

Zusatz zu:

—

⑥2

Ausscheidung aus:

—

⑦1

Anmelder:

Brown Boveri-Sulzer Turbomaschinen AG, Zürich (Schweiz)

Vertreter:

Marsch, Dipl.-Ing. Helmut; Sparing, Dipl.-Ing. Klaus;
Patentanwälte, 4000 Düsseldorf

⑦2

Als Erfinder benannt:

Suter, Dr. Peter, Schottikon (Schweiz)

Benachrichtigung gemäß Art. 7 § 1 Abs. 2 Nr. 1 d. Ges. v. 4. 9. 1967 (BGBl. I S. 960):
Prüfungsantrag gemäß § 28 b PatG ist gestellt

DT 1903642

BEST AVAILABLE COPY

© 7.70 009 832/1008

7/70

Brown Boveri - Sulzer Turbomaschinen A.G., Zürich, Schweiz

Schaufelung für Rotoren von Axialverdichtern

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaufelung für Rotoren von Axialverdichtern, insbesondere auf solche, bei denen die Anströmgeschwindigkeit des zu verdichtenden Gases an die rotierende Schaufel im Bereich -- unterhalb oder oberhalb oder sowohl unterhalb und oberhalb -- der Schallgeschwindigkeit des anströmenden Gases oder noch höher liegt.

Bei Axialverdichtern strebt man vor allem in den ersten Stufen am Eintrittsende möglichst hohe Durchströmgeschwindigkeiten des zu verdichtenden Mittels an, um kleine Abmessungen des Rotors und damit der ganzen Maschine zu erzielen. Dabei wird auch eine Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit der Schaufelung notwendig, um die notwendige Energie zur Erhöhung der Durchströmgeschwindigkeit und der Verdichtung dem Gas zuführen zu können.

Die Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des zu verdichtenden Gases führt ihrerseits zu Schwierigkeiten, sobald sie besonders relativ zur bewegten Schaufelung sich der Schallgeschwindigkeit des sie beströmenden Gases nähert oder sie gar überschreitet. Dann vermögen sich Schallwellen weniger und weniger, schliesslich gar nicht mehr stromaufwärts auszu-

breiten. Damit entsteht im Bereich des Auftreffens der Strömung auf eine senkrecht zu ihr stehenden Kante eine Stosswelle (oder Stossfront) die im weiteren Fortgang der Strömung Störungen verursachen und zu Energieverlusten führen kann. Die beim Stoss entstehende Druckerhöhung endet in einer Wärmeerzeugung auf Kosten der Strömungsenergie.

Solche Energieverluste werden bei den Tragflügeln transsonischer Flugzeuge dadurch vermieden, dass ihre Eintrittskanten schief zur Anströmung gestellt sind. Die Stösse treten dann erst bei höheren Zuströmgeschwindigkeiten auf.

Die Verwendung einer Schaufelung nach dem Muster transsonischer Flugzeugtragflächen würde strömungstechnisch wohl an sich gestatten, Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Schallgeschwindigkeit und darüber in Verdichtern zu verwenden. Solche Schaufeln müssten aber um einen erheblichen Winkel gegen die Strömungsrichtung und damit gegen die Rotorachse geneigt sein. Das hätte aber zur Wirkung, dass die Resultierende aller auf das Schaufelblatt wirkenden Fliehkräfte schon bei geringer Pfeilneigung des Schaufelblatts ausserhalb des Schwerpunktes des Schaufelfusses liegen würde. Damit entstünden Biegemomente, welche das Schaufelblatt besonders im Bereich des Uebergangs in den Schaufelfuss festigkeitsmässig unzulässig hoch belasten würden und bei geringsten zusätzlichen Störungen zu Schaufelbrüchen führen müssten.

Zur Vermeidung der genannten Schwierigkeit schlägt die Erfindung vor, das Schaufelblatt der einzelnen Schaufel mit einem innern Teil in Strömungsrichtung gesehen vorwärts und in einem äussern Teil rückwärts zu neigen, dergestalt, dass nicht nur die Schwerpunkte der in Richtung der Strömungslinien des das Schaufelblatt umströmenden Gases ermittelten Profilschnitte auf einer Schwerpunktlinie liegen, von der ein innerer Teil und ein äusserer Teil, die je mindestens ein viertel der gesamten Länge der Schwerpunktlinie aufweisen, in ihrem Verlauf so gerichtet sind, dass die Tangentenrichtung in jedem Punkt des innern Linienteils gegenüber der Tangentenrichtung in jedem Punkt des äussern Linienteils eine Neigung von mindestens 20° besitzt, sondern dass auch die Wirkungslinie der auf das ganze Schaufelblatt wirkenden Fliehkräfte mit dem Radiusstrahl des Schwerpunktes des innersten Schaufelprofils am Uebergang des Schaufelblattes in den Fuss zusammenfällt oder nahe benachbart von ihm liegt.

Fig. 1 stellt die bekannte Form eines transsonischen Flugzeuges mit Pfeilflügeln dar.

Fig. 2 veranschaulicht eine Schaufel für eine Verdichterschaukelung nach der Erfindung in tangentialer Ansicht mit gleichzeitiger Darstellung einzelner Profilschnitte in Richtung der Strömungslinien zur rechten Seite und des kleinsten Winkels der Tangentenrichtung im innern und derjenigen im äussern Schaufelteil zur linken Seite.

Endlich gibt Fig. 3 eine andere ebenfalls erfindungsgemäße Schaufelform wieder.

Transsonische Flugzeuge fallen, wie Fig. 1 zeigt, durch die pfeilförmige Anordnung der Flügel auf. Diese Flügel 1 sind von der tragenden Umgebungsluft in Richtung der angedeuteten Stromlinien 2 angeströmt. Werden in Richtung aller dieser Stromlinien die Profile 3 bzw. 6 ermittelt und von diesen Profilen die Schwerpunkte in die Flügelprojektion eingetragen, so ergibt sich die Schwerpunktlinie 4. Man sieht, dass diese Linie praktisch gerade ist und in ihrem gesamten Verlauf gegen die Flugzeugachse 5 in einem Winkel γ , bezogen auf die Anströmrichtung, rückwärts geneigt ist. Die Festigkeitsverhältnisse bei Flugzeugtragflächen gestatten es, dass die Flügelbefestigung am Rumpf 7 im Bereich des Profils 6 die aus dem Luftwiderstand und dem Auftrieb sich ergebende Belastung gefahrlos übertragen kann.

Den Schaufeln eines transsonischen Verdichters eine Form zu geben, wie sie für Flügel transsonischer Flugzeuge verwendet wird, ist nicht gangbar. Die Verdichterschaufeln würden an ihrem Ansatz am Schaufelfuss durch die auf sie wirkende Zentrifugalkraft in einem Mass zusätzlich auf Biegung beansprucht, das sich mit den nur durch den Strömungswiderstand allein entstehende Beanspruchungen nicht vergleichen lässt. Bei Verdichterschaufeln kann die Beanspruchung durch die Fliehkraft bis zum fünffachen Wert der allein aus dem Strömungswiderstand entstehenden Beanspruchung und in einzelnen

Fällen noch höher steigen. Diese Schwierigkeit kann jedoch, wie an der Ausführung nach Fig. 2 gezeigt sein mag, umgangen werden ohne jedoch auf den Pfeilflügeleffekt verzichten zu müssen.

Am Schaufelblatt 10 (Fig. 2) sind drei Teile 11, 12 und 13 durch die Pfeile 14 und 15 gegeneinander abgegrenzt. Diese Pfeile stellen Stromlinien in der durch die Rotoroberfläche 8 und die Gehäuseinnenfläche 9 begrenzten Strömung des zu verdichtenden Gases in nächster Nähe des Schaufelblatts, jedoch ausserhalb der Grenzschicht dar, welche um die Achse des Rotors in die Zeichenebene gedreht sind. Zufolge der Begrenzung der Strömung im Schaufelkanal -- aussen durch die eher zylindrische Innenfläche des Gehäuses und innen durch die kegelige Oberfläche des Rotors -- liegen die einzelnen Stromfäden in grosser Annäherung in Rotationsflächen. Entsprechend der zufolge der Verdichtung des Gases notwendigen Kontraktion werden diese Rotationsflächen Kegel darstellen, deren Oeffnungswinkel zwischen 0° aussen und innen dem Oeffnungswinkel der kegeligen Oberfläche 8 des Rotors liegen. Die durch diese Rotationsflächen definierten Schaufelschnitte ergeben abgewickelt Profile 17, 18, 19, 29 und 30. Jedes dieser Profile besitzt einen Flächenschwerpunkt 20, 21, 22, 28 und 31. Werden auf diese Art die Schwerpunkte aller Profile über die Schaufellänge ermittelt, so ergibt sich eine Schwerpunktlinie 23. Die Länge der durch die Punkte 28, 20, 22, 21 und 31 abgesteckten Teile der Schwerpunktlinie 23 beträgt je ein viertel der Gesamtlänge der ganzen Linie 23.

Durch geeignete Wahl des durch die Eintrittskante 101, die Austrittskante 102, die Rotoroberfläche 8 und die Gehäuseinnenfläche 9 definierten Schaufelumrisses ist der Verlauf der Schwerpunktlinie 23 so gestaltet, dass sämtliche Tangenten an die Linie 23 im inneren Teil 11 des Schaufelblatts gegenüber sämtlichen Tangenten im äusseren Teil 12 einen Winkel aufweisen, der mindestens 20° beträgt. Die Tangente im Punkt 20 der Schwerpunktlinie liegt in der Richtung der Geraden 24, diejenige im Punkt 21 besitzt die Richtung der Geraden 25. Die Gerade 26 schliesst mit der Geraden 24 einen Winkel α von 20° ein. Man sieht, dass der Winkel β zwischen den Tangenten in den Punkten 20 und 21 der Schwerpunktlinie einen grössern Wert als 20° aufweist. Die Schwerpunktlinie besitzt sowohl zwischen dem Schaufelfuss und dem Punkt 20 als auch zwischen dem Kopfe und dem Punkt 21 eine immer noch leicht konvex gegen die Strömung gerichtete Krümmung. Somit sind die Tangenten irgend eines Punktes der Schwerpunktachse im Schaufelteil 11 gegenüber irgend einer Tangente eines Punktes im Schaufelteil 12 in einem grössern Winkel geneigt, als die beiden Tangenten in den Punkten 20 und 21.

Zwischen dem inneren und dem äusseren Viertel 11 und 12 des Schaufelblattes liegt die Zwischenzone 13, die an beiden Enden auch noch Punkte aufweist, deren Tangenten gegenseitig eine Neigung von mehr als 20° aufweisen, so dass sich eine Stosswirkung etwa in den Zonen 111 und 121 vermeiden lässt. Nur im Bereich des Teiles 131 wird die Tangente in

irgend einem Punkt gegen jede Tangente in einem andern Punkt der ganzen Linie 23 weniger als unter 20° geneigt sein. In diesem Teil wäre es möglich, dass unbedeutende Stösse bei ungünstigen Betriebsverhältnissen noch entstehen könnten.

Weiterhin genügt die Form des Schaufelblattes auch der Bedingung, dass die Wirkungslinie 32 der auf das Schaufelblatt 10 ausgeübten resultierenden Fliehkraft mit dem Rotorradius 34 des Schwerpunktes 28 des Profils 29 am Uebergang des Schaufelblattes 10 in den Fuss 33 zusammenfällt oder doch nahe benachbart von ihm liegt. In der Wirkungslinie 32 liegt die Resultierende aller Teilfliehkräfte, welche auf die einzelnen Teilchen des Schaufelblattes wirken. Da die Richtungen aller dieser Teilfliehkräfte die Rotorachse senkrecht schneiden, ist ihre Resultierende auch so gelegen, dass ihre Richtung die Rotorachse senkrecht schneidet. Die Wirkungslinie 32 stellt somit gleichfalls einen Rotorradius dar. Dieser Rotorradius soll möglichst mit dem Rotorradius 34 des Schwerpunktes 28 am innersten Profil zusammenfallen. Die beiden Radien können sich auch unter ganz kleinem Winkel schneiden oder in sehr nahe benachbarten, zur Rotorachse senkrecht stehenden Ebenen parallel oder in geringem Winkel windschief zueinander liegen. Bei enger Nachbarschaft der Wirkungslinie 32 und des Rotorradius 34 ist die durch die Erfindung angestrebte Wirkung ohne empfindliche auch nur merkbare Einbusse immer noch zu erreichen.

Die Schaufel nach Fig. 3 ist für einen Rotor geringern Durchmessers als demjenigen der Schaufel nach Fig. 2 geeignet, bei dem die Schallgeschwindigkeit höchstens um ein geringes Mass überschritten wird. Dabei gelingt es, den mittleren Abschnitt 131 der Schwerpunktlinie 23, in welchem die Tangenten gegenüber jeder andern Tangente kleinere Winkel als 20° aufweisen, viel kürzer zu halten. Demzufolge können dann die Abschnitte 111 und 121, in welchen die Tangenten gegeneinander Neigungen von mehr als 20° aufweisen, viel länger ausgebildet werden, so dass praktisch auf der ganzen Schaufel keine Stellen entstehen, an welchen Stossvorgänge in der Strömung sich einstellen können. Im übrigen ist die Schaufel nach Fig. 3 gleich ausgebildet, wie diejenige nach Fig. 2.

Durch die beschriebene Formgebung eines Schaufelblattes wird der Pfeilflügeleffekt erreicht, ohne dass durch die auf die Schaufel wirkenden Fliehkräfte der Schaufelansatz unzulässig auf Biegung beansprucht würde. Bei gleichzeitiger Einhaltung der Vorschriften für die Krümmung unter Einhaltung der hierfür vorgesehenen Zonen einerseits und andererseits für die Lage der Fliehkraftwirkungslinie ist ein Bereich für die Schaufelkrümmung umgrenzt, innerhalb dessen der Pfeilflügeleffekt seine maximale Wirkung bei geringster Zusatzspannung infolge Fliehkräfte entfalten kann.

Patentanspruch

Schaufelung für Rotoren von Axialverdichtern, dadurch gekennzeichnet, dass das Schaufelblatt (10) der einzelnen Schaufel in einem innern Teil (11) - in Strömungsrichtung gesehen - vorwärts und in einem äussern Teil (12) rückwärts geneigt ist, dergestalt, dass nicht nur die Schwerpunkte (20, 21, 22²⁸ und 31) der in Richtung der Strömungslinien des das Schaufelblatt umströmenden Gases ermittelten Profilschnitte (17, 18, 19, 29, 30) auf einer Schwerpunktlinie (23) liegen, von der ein innerer Teil (111) und ein äusserer Teil (121), die je mindestens ein viertel der gesamten Länge der Schwerpunktslinie 23 aufweisen, in ihrem Verlauf so gerichtet sind, dass die Tangentenrichtung (24) in jedem Punkt (20) des innern Linienteils (111) gegenüber der Tangentenrichtung (25) in jedem Punkt des äussern Linienteils (121) eine Neigung (β) von mindestens 20° besitzt, sondern dass auch die Wirkungslinie (32) der auf das ganze Schaufelblatt (10) wirkenden Fliehkräfte mit dem Radiusstrahl (34) des Schwerpunktes (28) des innersten Schaufelprofils (29) am Uebergang des Schaufelblattes (10) in den Fuss (33) zusammenfällt oder nahe benachbart von ihm liegt.

¹⁰
Leerseite

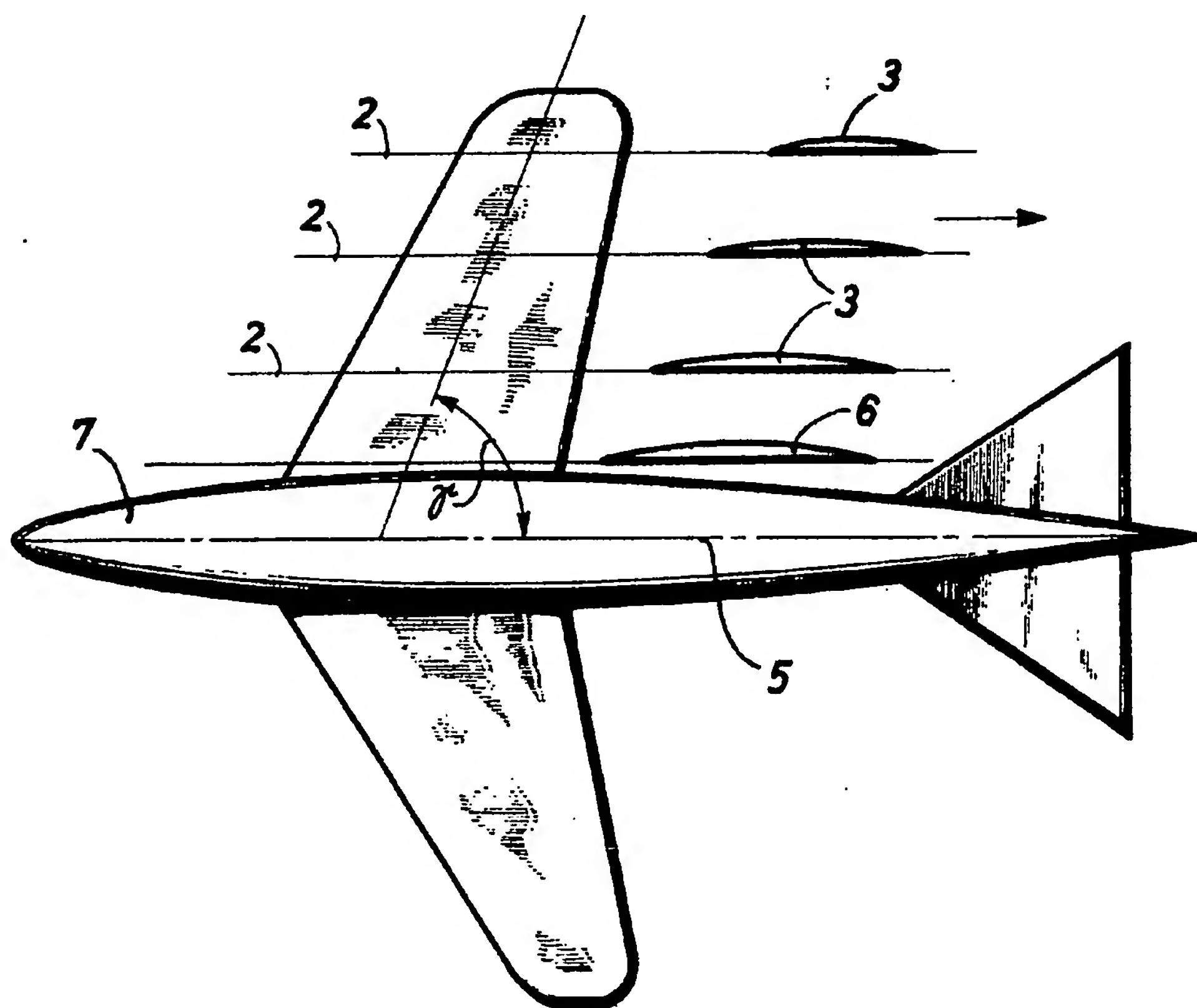
20.04.1970

13

1903642

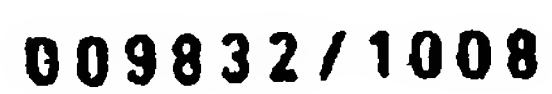
27 c 12-01 AT: 24.01.1969 OT: 06.08.1970

Fig. 1



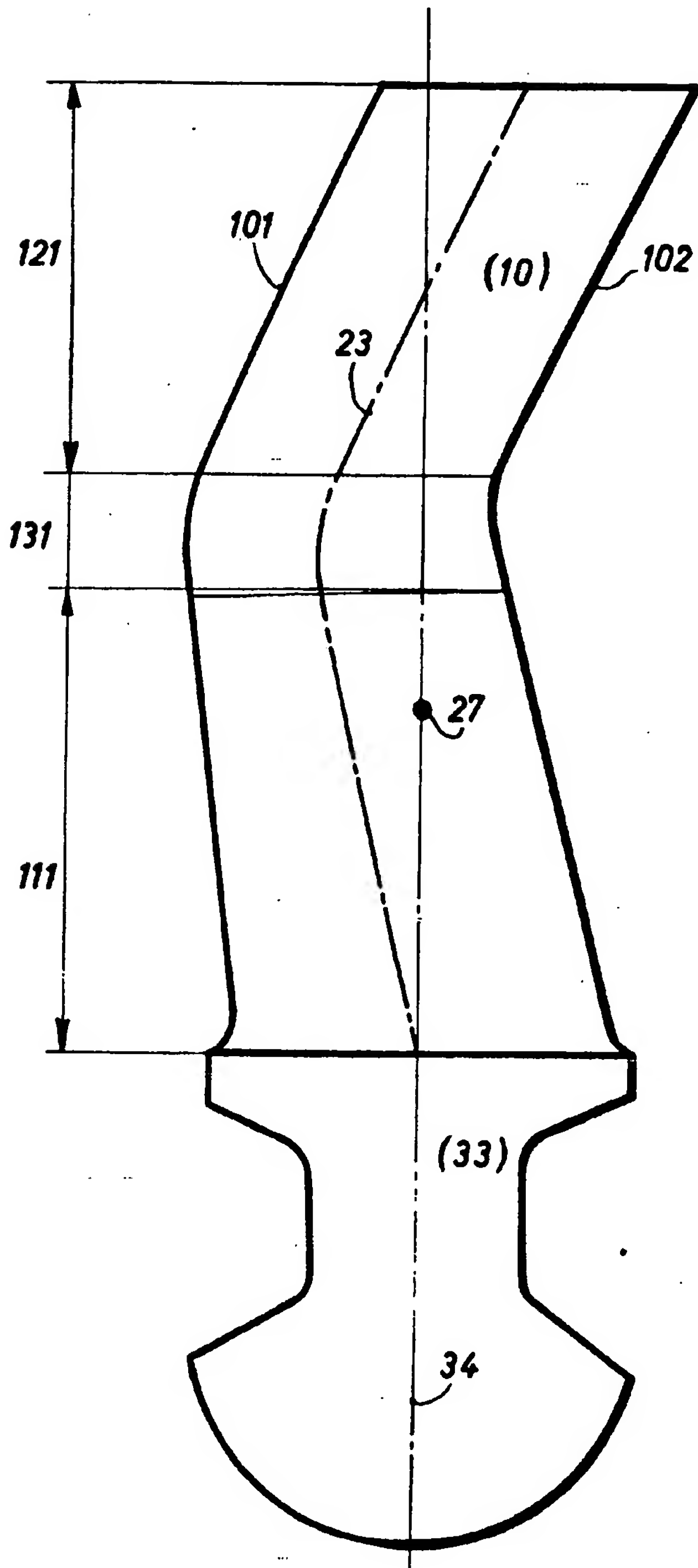
ORIGINAL INSPECTED

009832/1008



12

Fig. 3



ORIGINAL INSPECTED

009832/1008

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.